ISSN : 1226-7244 (Print)
ISSN : 2288-243X (Online)
논문번호 20-01-34
248

j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.24,No.1,248~253,March 2020
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2020.24.1.248

PTP Management Node 기반 시각동기 오류 검출 및 대응 시스템

PTP Management Node-based Time Synchronization Error Detection and Recovery System

김 윤 현*, 손 규 정**, 서 영 덕***, 장 태 규*★

Yoon Hyun Kim*, Kyou Jung Son**, Young Duk Seo***, Tae Gyu Chang*★

Abstract

This paper proposed PTP(Precision Time Protocol) management node-based time synchronization error detection and recovery system. The proposed system is to maintain the preciseness of time synchronization under time synchronization error situations on IEEE 1588-based network environment. To demonstrate the proposed time synchronization error detection and recovery system, PTP implemented EVM(Evaluation Module)-based experiments were performed. As a results of the experiments, it is shown that the proposed system effectively maintains the preciseness of time synchronization under time synchronization error situations.

요 약

본 논문은 PTP(Precision Time Protocol) management node 기반 시각동기 오류 검출 및 대응 시스템을 제안하였다. 기존 IEEE 1588 PTP 시각동기 표준에서 제시되지 않은 새로운 시각동기 마스터 failure 검출 및 대응 방법을 제안하여 시각동기가 적용된 분산 네트워크 시스템의 안정성과 신뢰도를 제고하고, EVM(Evaluation Module)으로 구성된 시각동기 네트워크 모의고장 실험을 통해 본 논문에서 제안한 시스템이 실제 마스터 클락 상에 발생한 시각오류를 검출하고 대응이 가능함을 증명하였다. 본 논문에서 도입한 매니지먼트 장치를 중심으로 기존 슬레이브 장치들의 협조아래 마스터 장치의 시각정보 오류를 검출하고, 대응하는 새로운 시스템 구조를 도출하였고, EVM 기기로 구성된 시각동기 네트워크 모의 고장 실험을 통해 본 논문에서 제안한 시스템의 시각동기 오류 대응에 따른 정밀 시각동기 유지 기능의 타당성을 입증하였다.

Key words : Time synchronization, Time Synchronization error detection, IEEE 1588, IEC 61850, Time error Handling

Ⅰ. 서론

고정밀한 동작을 요구하는 실시간 분산 네트워크 시스템 상에선 기기 간의 시각 동기 오차로 인해 데이터 상에 발생한 왜곡이 시스템 제어 및 보호 알고리즘 상에 오작동을 야기할 수 있다[1]-[3]. 따라서, 분산 네트워크상에 구성된 시스템의 안정성과 신뢰도를 위해 시스템을 구성하는 기기 간의 시

* Dept. of Electronics Engineering, Chung-Ang University
** Dept. of Electrical Engineering, Myongji University
*** Transformer & Diagnosis R&D Team, LS ELECTRIC
★ Corresponding author
E-mail : tgchang@cau.ac.kr, Tel : +82-2-820-5318
※ Acknowledgment
This research was supported in part by Korea Electric Power Corporation. (Grant number: R17XA05-02)
Manuscript received Mar. 6, 2020; revised Mar. 10, 2020; accepted Mar. 25, 2020.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

각동기가 보장되는 것은 필수적이라 할 수 있다.

시각동기의 목적은 GPS(Global Positioning System)와 같은 정밀한 시각 동기원에서 전달된 신뢰성 높은 시각정보를 이더넷과 같은 패킷 망을 통해 연결된 시스템 장치들 상에 제공하여 GPS에 준한 시간 동기를 구축하는 것이다. 이더넷망 상에 시각동기를 구현하기 위한 대표적인 방식으로는 NTP(Network Time Protocol)와 PTP(Precision Time Protocol)가 있고, 이를 통해 구성된 시스템 상의 제어 및 보호를 보장해주기 위하여 IEEE 1588 PTP[4]와 같은 표준이 제안되었으며, 전력 시스템의 경우 IEC61850[5]과 같은 시각동기 표준을 기반으로 원격 시스템 상의 시각동기 장치 구성 및 요구 성능을 제안하고 있다.

해당 표준에는 시각동기 정밀도 및 성능에 관한 규격과 시각동기용 통신 데이터 규격이 정해져 있어 이를 바탕으로 시스템 상의 시각 동기를 구성할 수 있으며[6]-[8], BMCA(Best Master Clock Algorithm)를 사용하여 시각동기 오류상황을 검출하고 대응하는 방안이 제시되어 있다. 하지만 BMCA의 경우 시각동기 마스터의 완전한 탈락 상황에 대비한 것으로써 기존의 마스터 장치를 대체할 다른 마스터 장치를 요구로 하며, GPS 교란이나 마스터 장치의 고장으로 인한 시각동기 마스터 장치 오류 검출 및 대응방법은 제안되어있지 않다.

그러므로, 기존의 시각동기 표준 방식만을 바탕으로 구성된 분산 네트워크 시스템의 경우 상기 서술한 마스터 장치 오류 상황을 검출하고, 대응할 수 없기 때문에 기기들의 정밀한 동작을 확실하게 보장할 수 없게 된다. 마스터 장치의 시각정보 신뢰도를 보장하기 위한 방법으로 복수의 마스터에서 오는 정보 중 양호한 정보를 선택해 시각동기를 유지하는 방식[9]이 제안되었지만, 시각동기에 필요한 트래픽이 두 배로 증가하고 통신망을 복수로 구성해야한다는 구조상 단점이 존재한다.

따라서, 본 논문에선 GPS교란이나 고장으로 인한 마스터 장치의 시각 동기 오류 상황을 검출하고, 그에 대응해 전체 시스템의 시각동기를 효과적으로 유지할 수 있는 방법으로 매니지먼트 장치 기반의 시각동기 마스터 오류 검출 및 대응 방법을 제안하고, 고장 모의 실험을 통해 실제 사용가능성을 검증하여 본 논문을 통해 제안된 방법이 현재 시각동기 표준상의 부족한 부분을 보완할 수 있음을 보였다.

II. 본론

2.1 매니지먼트 장치 기반 시각동기 오류 검출 및 대응 시스템

본 논문에서 제안하는 매니지먼트 장치 기반 마스터 시각동기 오류 검출 및 대응 시스템의 구성은 다음의 그림 1과 같다.

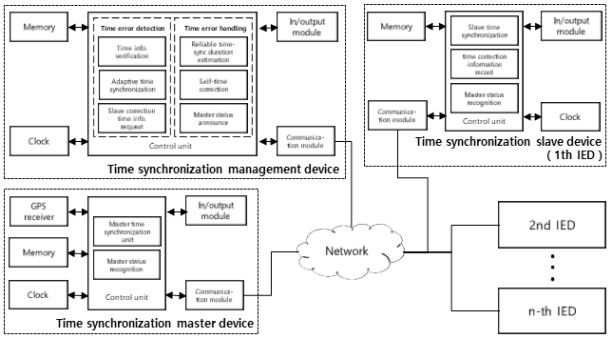

Fig. 1. Structure of the proposed PTP management node-ased time synchronization error detection and recovery system.

그림 1. 매니지먼트 장치 기반 마스터 시각동기 오류 검출 및 대응 시스템 구성도

기존의 시각동기 네트워크 구성인 마스터-슬레이브 장치 구성에 마스터 장치 오류 검출 및 대응부가 포함된 시각동기 매니지먼트 장치가 추가되어 시각동기 장치 간 시각교정정보 공유를 통한 마스터 장치 시각동기 오류검출 및 매니지먼트 장치 중심의 시각동기 오류 대응 기능을 구현하였다. 마스터 클락 시각동기 오류를 검출하기 위해 시각동기 매니지먼트 장치가 일차적으로 시각동기메세지의 신뢰도를 계산하고, 시각동기 메시지의 시각동기 신뢰도 상에 이상이 존재할 시 장치 간 시각교정정보 공유를 통해 최종적으로 마스터 시각동기 메시지의 오류를 판정할 수 있는 구조를 도출하였고, 매니지먼트 장치 상에 포함된 자가시각교정 알고리즘 및 마스터 대체기능을 기반으로 마스터 오류 대응기능을 구현하여 시스템 상의 시각동기를 장시간 유지할 수 있는 새로운 시각동기 보호 방법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 매니지먼트 장치와 슬레이브 클락 협조 기반 시각동기 마스터 오류 검출 및 대응 알고리즘의 자세한 흐름도는 그림 2와 같다. PTP(Precision Time Protocol) 시각동기가 수행된

이후 설정된 시간 내에 매니지먼트 장치가 마스터 장치로부터 시각동기 신호를 받은 경우 다음의 두 단계를 거쳐 현재 시각동기 정보의 신뢰도를 평가하다. 첫 번째 시각정보 검증은 수식 (1)과 같이 매니지먼트 노드상의 이전 시각교정정보와 현재 신호를 바탕으로 매니지먼트 장치 상의 VCR(Variance Change Rate)을 구한 뒤, 이를 threshold와 비교하여 동기 신호의 적절성을 판단한다.

$$VCR(t) = \frac{\sum_{k=t-N+1}^{t} (time(k) - offset(k))^2}{\sum_{k=t-N}^{t-1} (time(k) - offset(k))^2} \quad (1)$$

일차 검증의 결과 설정된 threshold를 넘지 않을 경우 Master 장치상의 시각교정정보가 정상이라고 판단하여 정상적인 시각동기를 진행하며 자신의 시각교정정보를 기록한 뒤 다음 시각동기 신호 수신 대기 상태로 들어간다. 하지만 일차 검증값이 설정된 threshold를 넘을 경우 Test 1 Error로 판정하여 슬레이브 장치로부터 시각교정정보를 수집한 뒤 두 번째 시각정보 검증에 들어간다. 두 번째 시각정보 검증은 식 (2)와 같이 슬레이브 장치들의 평균적인 VCR을 구한 뒤, 이를 threshold와 비교하여 이루어진다.

$$Meanslave\,VCR(t) = \frac{1}{M}\sum_{n=1}^{M} Slave_n VCR(t) \quad (2)$$

이차 검증의 결과 이상이 없을 경우 매니지먼트 장치의 이상으로 판단하여 마스터 장치 시각정보를 사용한 시각동기화를 지속한다. 하지만 이차 검증의 결과 값이 Threshold를 넘을 경우 마스터 장치 상에 오류가 발생했다고 판정하여 시각동기 오류 대응 프로세스를 수행한다.

오류 검출 과정을 통해 마스터 시각오류로 판정되거나 마스터 장치로부터 설정된 기간 이내 Sync 메시지를 받지 못했을 경우 매니지먼트 장치는 일차적으로 대체 가능한 다른 마스터의 존재 유무를 찾으며, 존재할 경우 BMCA를 통해 시각동기 마스터를 재설정하는 기존 시각오류대응 프로세스를 수행한다. 만일 대체 가능한 다른 시각동기 마스터가 존재하지 않을 경우 본 논문에서 제안한 방식인 매니지먼트 장치 기반의 마스터 시각 오류 대응이 수행된다. 이 때, 매니지먼트 장치는 이전 시각교정

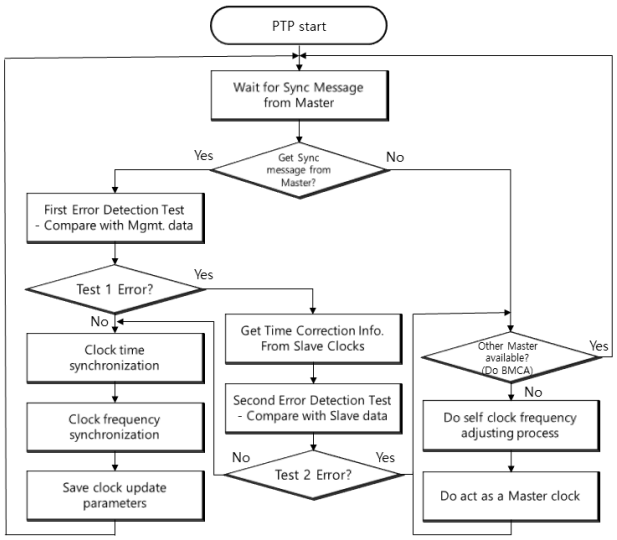

Fig. 2. Flow chart of PTP management node-based time synchronization error detection and recovery system.
그림 2. Management 장치 기반 시각동기 오류 검출 및 대응 알고리즘 흐름도

데이터를 기반으로 한 자가시각교정 알고리즘을 통해 클락 특성을 자체적으로 보정하는 과정을 수행하고, 오류가 발생한 시각동기 마스터를 대체하는 새로운 시각동기 마스터로써 기능하여 새로운 시각정보를 주기적으로 슬레이브 장치에 전달하여 전체 분산 네트워크 시스템 상의 시각 동기를 유지하게 된다.

본 논문에선 이와 같이 마스터 클락 오류를 검출하고 대응하는 새로운 시각동기 보호 시스템을 도출하였고,

2.2 시각동기 오류검출 및 대응 시뮬레이션

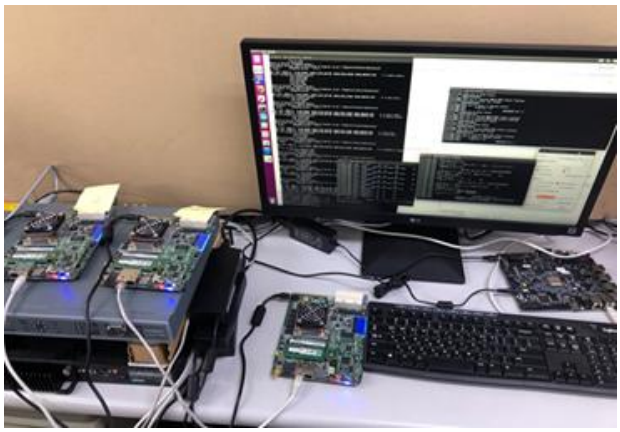

Fig. 3. Test environment of PTP time synchronized system the implemented IED plafrom.
그림 3. 매니지먼트 노드 기반 시각동기 오류 검출 및 대응 알고리즘 검증을 위한 실험환경 구성

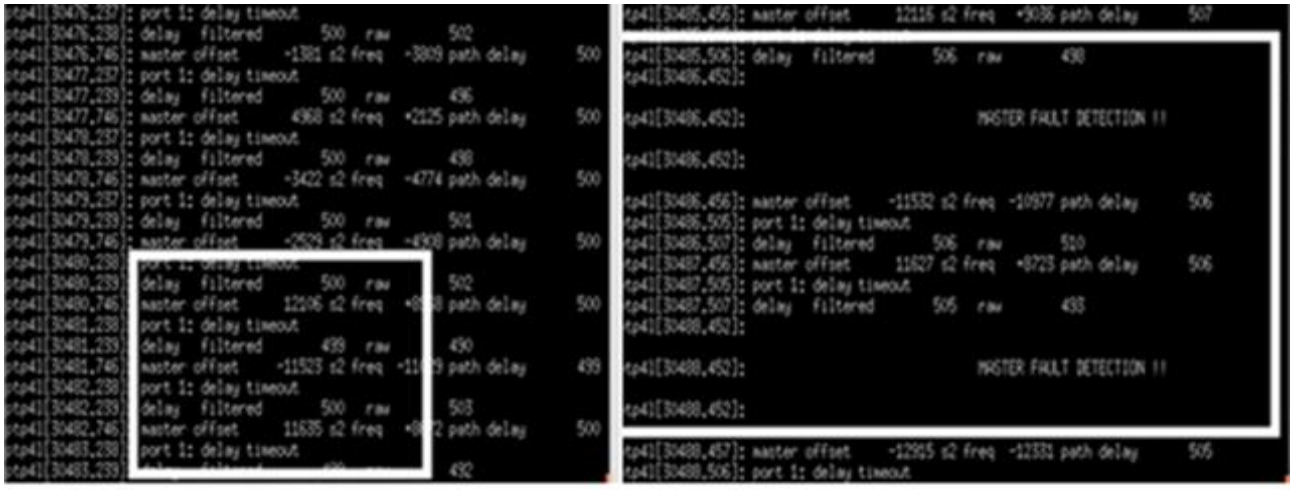

Fig. 4. Experiment results of PTP management node-based time synchronization error detection test
(a) Captured Screen of Slave device, (b) Captured Screen of Management device
그림 4. 본 연구에서 개발한 시각동기 오류검출 알고리즘 성능 시험 결과.
(a) Slave clock 동작 화면 캡처, (b) Management 장치 동작 화면 캡처

본 논문을 통해 제안한 매니지먼트 노드 기반 마스터 클락 시각동기 오류 검출 및 대응 시스템이 실제 시각동기 네트워크 상에 적용 가능한지 검증하기 위해 그림 3과 같이 EVM(Evmk2h)을 사용한 LAN 기반 분산 네트워크 시스템을 구성하였고, 시각동기 오류 검출 실험과 시각동기 오류 대응 실험을 수행하여 본 논문에서 제안한 개념인 매니지먼트 노드 기반의 마스터 시각동기 오류 검출 및 대응이 실제 분산 네트워크 시스템 상에서도 제대로 동작함을 보였다.

가. 시각동기 오류 검출 실험

매니지먼트 노드 기반의 시각동기 오류 검출 알고리즘의 동작 증명을 위해 그림 3과 같이 PTP를 통한 시간동기가 유지되는 분산 네트워크 시스템을 구성하였고, 시각동기 마스터 클락이 정기적으로 보내는 시각동기 신호에 오프셋 오류를 발생시킨 경우 이를 매니지먼트 장치가 제대로 검출할 수 있는지 확인하는 실험을 진행하여 그림 4와 같은 결과를 얻었다. 그림 4(a)상의 슬레이브 클락 교정 정보에서 확인할 수 있듯이 마스터 클락 fault 상황 시 10us의 시각 오프셋 오차가 발생하도록 설계하였으며, 시각동기 마스터 클락 오류 상황에서 그림 4(b)와 같이 매니지먼트 노드가 마스터 시각동기 오류 상황을 성공적으로 검출해 낸 것을 확인할 수 있다. 이로써 매니지먼트 노드를 기반으로 한 오류 검출 시스템이 실제 시각동기 네트워크상에서도 동작함을 증명하였다.

나. 시각동기 오류 대응 실험

본 논문에서 제안한 시각동기 오류 대응 알고리즘의 성능 분석을 위해 시각동기 오류가 발생한 시점으로부터 시간에 따라 각 장치의 시각이 기준시각에서 벗어나는 정도를 관측하는 실험을 진행하였으며, 그 결과를 그림 5 상에 나타내었다. 각 장치에서 추출한 1-PPS 신호를 오실로스코프 상에 연결하여 측정하였으며, 해당 그림 상에서 노랑색 선은 Master clock을 나타내고, 보라색 선은 대응 알고리즘이 적용된 Slave clock, 파랑색 선은 일반 Slave clock상에서 측정된 1-PPS를 나타낸다. 그림 5(a)는 시각동기가 정상적으로 진행 될 경우의 1-PPS 측정 결과를 보여주고, 그림 5(b)는 마스터 시각동기 신호를 제거한 뒤 40초가 경과하였을 경우의 1-PPS를 보여준다. 자체 시각오류 대응 알고리즘이 적용된 경우 40초 까지 1us 이하의 시각 정밀도를 유지하지만 그렇지 않은 경우 기준시각에서 더 멀어진 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서 제안한 PTP Management 장치 기반 시각동기 오류 검출 및 대응 시스템은 분산 네

Fig. 5. Results of 1-PPS performance test over time of time synchronization error.
(a) 1-PPS result of time synchronized clocks (b) 1-PPS results of clocks, 40 seconds after master clock error.
그림 5. 시각동기 오류 자체 대응 알고리즘의 시간경과에 따른 1-PPS 성능 시험 결과.
(a) 시각동기 유지 시 1-PPS 결과 (b) Master clock 오류 후 40초 경과 시 1-PPS 결과

트워크의 시각 동기 안정성을 향상시켜주는 시스템으로, 정밀 시각동기의 유지가 필요한 분야로의 응용이 가능할 것으로 기대된다. 특히, 제어 및 보호를 위해 기기 간 정밀 시각동기가 요구되는 미래의 디지털 전력 계통 환경은 다양한 시각동기 오류 상황에 대응할 수 있는 시스템이 필수적으로 적용되어야 한다. 제안한 시스템은 Master failure 검출뿐 아니라, Slave의 1us 이하 자체 시각 보정 능력을 향상시킴으로써, 디지털 전력 계통 환경에 유용한 시각동기 시스템을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

추후에는 Master/Slave failure 시에도 더욱 정밀하게 자체 및 협조기반으로 시각을 보정할 수 있는 방안을 연구하여 더욱 안정적으로 기기 간 정밀 시각 동기를 유지할 수 있는 시스템에 대한 연구를 진행하고자 한다.

References

[1] Son Kyou Jung, Tae Gyu Chang, and Sang-Hee Kang. “The Effect of Time Synchronization Error in LAN-Based Digital Substation,” *Sensors,* Vol.19, No.9, pp.2044, 2019. DOI: 10.3390/s19092044

[2] T. Bi, J. Guo, K. Xu, L. Zhang, Q. Yang, “The Impact of Time Synchronization Deviation on the Performance of Synchrophasor Measurements and Wide Area Damping Control,” *IEEE Trans. Smart Grid*, Vol.8, No.4, pp.1545-1552, 2017. DOI: 10.1109/TSG.2015.2489384

[3] D. M. E. Ingram, P. Schaub, R. R. Taylor, D. A. Campbell, “System-Level Tests of Transformer Differential Protection Using an IEC 61850 Process Bus,” *IEEE Trans. Power Deliv.,* Vol.29, No.3, pp.1382-1389, 2014. DOI: 10.1109/TPWRD.2013.2291789

[4] IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems, IEEE Std C37.118.1-2011, 2011.

[5] Pandey, Priyanshu, Bhanu Pratap, and Radhey Shyam Pandey. “Analysis and Design of Precision Time Protocol System Based on IEEE1588 Standards,” *2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). IEEE*, 2019. DOI: 10.1109/ICCES45898.2019.9002096

[6] IEC 61850, International Standard, “Communication Networks and System in Substation,” available at http://www.uac.ch DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.1.22

[7] D. M. E. Ingram, P. Shaub, D. A. Campbell,

R. R. Taylor, “Performance Analysis of PTP Components for IEC 61850 Process Bus Applications,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.62, No.4, 2013.
DOI: 10.1109/TIM.2013.2245188
[8] Nam, Kyung-Deok et al. “Precision time sync. HW/SW platform for power system protection,” *Journal of IKEEE,* Vol.22, No.4 pp.1036-1043, 2018.
[9] I. S Park, T. W Kim, “Time synchronization method and device,” Patent Application No.10-2016-0135527, 2016.

BIOGRAPHY

Yoon Hyun Kim (Member)

2017 : BS degree in Electronics and Electrical Engineering, Chung-Ang University.
2020 : MS degree in Electronics and Electrical Engineering.
Chung-Ang University.

Kyou Jung Son (Member)

2012 : BS degree in Electronics and Electrical Engineering, Chung-Ang University.
2014 : MS degree in Electronics and Electrical Engineering, Chung-Ang University.
2019 : Ph.D degree in Electronics and Electrical Engineering, Chung-Ang University.

Yeoung Duk Seo (Member)

2017 : BS degree in Electronics and Electrical Engineering, Chung-Ang University.
2020 : MS degree in Electronics and Electrical Engineering, Chung-Ang University.

Tae Gyu Chang (Member)

1979 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul National University.
1981 : MS degree in Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology.
1987 : PhD degree in Electrical Engineering, University of Florida.
1981~1984 : Systems Design Engineer, Hyundai Engineering/Electronics.
1987~1990 : Research Assistant Professor, Tennessee State University, Nashville.
1990~ : Professor, Chung-Ang University